

ÖNGERİLMELİ İ KESİTLİ SARGILI BETONARME KİRİŞLERİN KESME KAPASİTELERİNİN TAHMİNİNE YÖNELİK BİR ARAŞTIRMA

Mehmet Said SERTKAYA¹, Musa Hakan ARSLAN²

¹Betonel Prefabrik Beton, Susuz Mahallesi, İstanbul Yolu 23. Km, Ankara Türkiye

²Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Konya
Türkiye

msssertkaya@gmail.com, mharslan@selcuk.edu.tr

Özet

Betonarme öngerilmeli beton kirişler, genellikle kullanım yükleri altında eğilme ve kesme kuvveti etkisindedir. Bazı durumlarda kiriş, eğilme kapasitesine ulaşmadan kesme etkisi altında da göçmektedir. Kirişlerin kesme etkisinden zarar görmemesi ve kirişin eğilme kapasitesine tam olarak ulaşabilmesi için kesme kapasitesinin doğru olarak belirlenmesi önemlidir. Bu çalışmada öngerilmeli betonarme kirişlerin kesme kapasitelerinin belirlenmesi için akıllı sistem tabanlı analitik bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Çalışmada ilk olarak öngerilmeli betonarme kirişlerin kesme kapasitelerinin teorik hesaplarından bahsedilmiştir. Daha sonra ise bu konuda yapılan deneysel çalışmalar derlenerek deneyler hakkında açıklamalar ve deneylerin gruplandırmaları yapılmıştır. Kesme kapasitesinin belirlenmesinde oldukça fazla parametrenin etkisinin olması bu yorumlamaları zorlaştırmış olsa da çalışmanın bir sonraki ayağı olan akıllı sistem modellemesi ile kesme kapasitesinin belirlenmesi için önemli bir deneysel ve analitik altyapı oluşturulmuştur. Akıllı bir sistem türü olan yapay sinir ağları (YSA) hakkında bilgi verilerek analiz yöntemi tanıtılmış ve derlenen deneysel veri setinde yer alan betonarme ve öngerilmeli beton kirişlerin MATLAB paket programında YSA modellemeleri yapılmıştır. Modellemelerde kullanılan kirişlere ait parametreler doğrultusunda mevcut yönetmeliklere göre kiriş kesme kapasiteleri de ayrıca belirlenmiştir. Oluşturulan YSA modelleri ile mevcut tasarım ve yapım yönetmeliklerinin kiriş kesme kapasitesinin belirlenmesindeki performansları karşılaştırılmalı olarak değerlendirilmiştir. Yapılan karşılaştırmalarda YSA'nın yönetmelik yaklaşımlara göre oldukça yüksek bir tahmin oranına sahip olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Betonarme kiriş, kiriş kesme kapasitesi, öngerilmeli beton, yapay sinir ağları.

AN INVESTIGATION ON DETERMINATION OF SHEAR CAPACITY OF I SHAPED PRESTRESSED REINFORCED CONCRETE BEAMS WITH STIRRUPS

Abstract

Prestressed reinforced concrete beams are generally bending and shear under service loads. In some cases, the beam falls under the effect of shear without reaching the bending capacity. Accurate determination of the shear capacity becomes important so that the beams are not damaged by the shear effect. In addition, the shear capacity of the beam must be correctly determined so that the beam can fully reach its bending moment capacity. In this study, an intelligent system based analytical study was carried out to determine the shear capacities of prestressed reinforced concrete beams. In the study, the theoretical calculations of the shear capacities of prestressed concrete beams were first mentioned and then the experimental works carried out in this subject were compiled and groupings of explanations and experiments were made about the experiments. It is examined how the shear capacity changes according to each parameter according to the present experimental data. Although a lot of parametric effects have been made in determining the shear capacity, these interpretations have been difficult, but an important experimental and analytical infrastructure has been established for the determination of shear capacity by intelligent system modeling, which is the next step of the study. The analysis method is introduced by giving information about artificial neural networks (ANN) which is an intelligent system type and ANN models are made in the MATLAB package program of reinforced concrete and prestressed concrete beams in the complied experimental data set. Shear capacities of the beams are also determined according to the present regulations in line with the parameters of beams used in the models. The performance of the ANN models generated and the determination of the beam shear capacity of the present regulations have been evaluated comparatively. In the comparisons made, it was seen that ANN has a fairly high prediction ratio in regulatory approaches. Moreover, the success of ANN in predicting reinforced concrete beams is higher than the regulations norms.

Keywords: Artificial neural networks, prestressed concrete, reinforced concrete beam, shear capacity of beam.

1. Giriş

Betonarmenin ve öngerilmeli betonun tarihsel gelişimi göz önüne alındığında; betonarmenin pratikten ortaya çıktığı görülür. Betonun çekme dayanımının, basınç dayanımına göre çok düşük olması problemi ise çelik donatılar ile giderilmiştir. Başka bir ifade ile çekme bölgelerinde oluşan çatlaklar, bu çatlaklara dik doğrultudayerleştirilen çelik dikişlerle dikilerek taşıyıcılık sağlanmıştır. Bu uygulama yoğun laboratuvar çalışmalarının, bilim ve teknolojinin ilerlemesiyle durmaksızın gelişmiştir.

Gün geçtikçe inşaat teknolojisi, çeşitli alanlarda hızlı bir şekilde gelişmektedir. Öngerilmeli beton teknolojisi de bu alanlarda yer alan uygulamalardan biridir. Betonarme taşıyıcı sistemlerin yetersiz kaldığı alanlarda uygulama olarak öngerilmeli beton ile karşılaşılabılır. Türkiye’de ardgerme veya öngerme sistemler olarak büyük açıklıkların geçilmesi, su depolarının inşası, prefabrike yapı elemanları üretimi vb. alanlarda öngerilmeli beton ile karşılaşılmaktadır. Öngerilmeli beton teknolojisi ile yapılan elemanlar uygulamada genellikle eğilmeye çalışan kiriş ve döşemelerdir. Burada temel sebep özellikle baskın eğilme momenti etkisindeki betonarme bir elemanda kesitin önemli bir kısmının çekme gerilmesi altında kalmasıdır. Taşıma gücüne göre tasarlanan bir betonarme elemanda betonun çekme dayanımı ihmal edildiği için çekmeye çalışan bölgenin eğilme momenti taşıma kapasitesi açısından kesit taşıma gücüne bir faydası yoktur. Ayrıca momentin bir fonksiyonu olan sehim de kesitte önemli oranda artmakta ve kullanım açısından değerlendirilmesi gerekli durumlar ortaya çıkmaktadır. Özellikle büyük açıklıklı döşeme ve kirişlerde oluşan bu problemlerin üstesinden gelebilmek için öngerilme teknolojisi geliştirilmiştir. Öngerilmeli beton teknolojisi ile üretilen bir betonarme elemanda, yükleme öncesi çelik halatlar vasıtasıyla verilen öngerilme (basınç gerilmesi) betonun zaman içinde prizi alıp sertleşmesiyle betona aktarılmakta böylece yüklenmiş elemanda sonradan oluşacak çekme gerilmesini düşürmekte ve kesit daha etkili bir şekilde çalışmakta, moment taşıma kapasitesi artmaktadır. Bu durum öngerilmeden oluşan basınç gerilmesi ile kesitin basınç etkisi altında kalan kısmın artması ve buna bağlı olarak moment hesaplamasında kesitin önemli bir kısmının devreye girmesi ile de açıklanabilir. Sadece moment taşıma kapasitesi değil aynı zamanda kiriş ya da döşeme elemanlarda oluşacak

olan ani yada zamana bağlı sehımlerin de bu yöntemle sınırlandırılması söz konusudur [1-2].

Betonarme elemanlarda düşey ve/veya yatay yükler etkisi altında oluşan moment, kesme kuvveti ve eksenel yük vs. gibi kesit tesirlerinden dolayı elemanda yer yer çatlamalar meydana gelmektedir. Betonun yapısı gereği ortaya çıkan bu beklenen çatlakları engellemek mümkün değildir. Sadece çelik donatı kullanılarak çatlağın derinliğinin ve genişliğinin kontrol altına alınması söz konusu olup kullanılabilirlik açısından da gereklidir. Her ne kadar eğilme etkisi altındaki elemanlarda söz konusu çatlak oluşumu beklense de çatlağı oluşturan kesit tesiri ve çatlağın oluşum mekanizması çok önemlidir. Eğilme momentinden dolayı oluşan çatlaklar sünek davranışın varlığını gösterirken, kesme kuvvetinden dolayı oluşan çatlaklar ise gevrek davranışı sembolize eder ve çatlak türünün gevrek/habersiz/ani olmasından dolayı çok tehlikelidir. Bu bağlamda kesit tasarımında kesme çatlaklarının oluşmasına kapasite tasarımı gereği izin verilmez. Kapasite tasarımı ilkelerine göre hasar ilk olarak eğilmeden daha sonra ise kesmeden dolayı oluşmalıdır. Kiriş güç tükenmesi durumuna ilk olarak eğilme ile erişmeli sonrasında kesme mekanizması meydana gelmelidir. Eğer kiriş eğilme dayanımından önce kesme dayanımına ulaşırsa eleman kesme etkisinden dolayı enerji tüketmeden ani olarak göçecektir. Betonarme ve öngerilmeli beton elemanlarda yapılan hesaplamada elemanın kesme kapasitesinin doğru olarak tayin edilmesi yukarıda açıklanan sebeplerden dolayı son derece önemlidir [1].

Eğilme momenti ile kesme kuvveti matematiksel formüller ile birbirine doğru orantılı olarak bağlıdır. Yani eğilme momentinin sabit olmadığı her yerde kesme iç kuvveti olmaktadır. Betonarme kirişin sadece eğilme kapasitesi arttırılırsa (boyuna donatı oranı ve dayanımı artırılarak) kesme kapasitesi sabit kalacak ve bu durumda kirişin öngörülen yükleme altında kesme kırılmasından dolayı göçme durumu daha kolay olacaktır. Bu sebepten dolayı kiriş tasarımında eğilme momenti kapasitesinin arttığı oranda kesme kapasitesini de arttırmak gerekmektedir. Literatürde bu durum kapasite tasarımı olarak anılmakta ve kesme hesabının eğilme momenti kapasitelerine göre yapılması istenmektedir [1-2].

Kesme kapasitesi değerinin belirlenmesi ile eleman eğilme kapasitesine tam olarak eriştirilebilecek şekilde tasarlanabilir. Bu sebeplerden dolayı kirişlerin kesme

kapasitelerinin doğru olarak belirlenebilmesi ve kesme kapasitesinin bağlı olduğu parametrelerin incelenmesi önem arz etmektedir.

Literatürde öngerilmeli beton teknolojisi ile üretilmiş elemanlara yönelik yapılmış çok fazla sayıda çalışma mevcuttur. Bu çalışmalar eleman ve taşıyıcı sistem açısından çeşitli yönlerden öngerilmeli beton teknolojisine değinmektedir. Örneğin Ali (2010) [3], yaptığı çalışmada, daha önce deneysel çalışması yapılmış dikdörtgen kesitli, dört noktalı yükleme altında tek açıklıklı 3 adet öngerilmeli beton basit kirişin ANSYS paket programı ile nonlinear sonlu elemanlar modelleme (FEM) ve analizini yapmıştır. Modellemede Solid65, Solid45 ve Link8 elemanları kullanmıştır. Böylece gerçek davranışa yakın bir bilgisayar modeli oluşturmaya çalışmıştır. Elde edilen sonuçlar deneyden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırmıştır. Onyemelukwe ve ark. (2003) [4] uygulanmış olan bir öngerilmeli beton köprü kirişi üzerinden ölçülen öngerilme kayıplarının miktarı ile bazı yönetmeliklerde ön görülen yöntemlerle hesaplanan öngerilme kayıpları miktarının bir karşılaştırmasını yapmışlardır. Kiriş üzerindeki zamana bağlı öngerilme kayıplarının değişimi ve dağılımını belirlemek için eksenel şekil değiştirme verileri kullanılmıştır. Çalışma sonucunda öngerilme kayıplarının PCI [5] ve AASHTO [6] yönetmeliklerinde tarif edildiği gibi kesit boyunca düzenli olmadığı tespitine ulaşılmıştır. Çalışmada kirişin farklı derinliklerindeki gerilmeler, ölçülmüş öngerilme değişimleri kullanılarak hesaplanmıştır. Bu gerilme değerleri PCI ve AASHTO yönetmelikleri tarafından önerilen öngerilme kayıpları ile hesaplanan gerilmelere oranla çoğunlukla daha fazla çıkmıştır. Du ve Au (2005) [7] yaptıkları çalışmada öngerilmeli beton kirişli köprülerin tasarımı için Hong Kong, Çin ve AASHTO LRFD yönetmeliklerinin karşılaştırmasını yapmışlardır. Çalışmada ardçekim öngerilmeli beton kirişli, açıklığı 25 m ~ 40 m arasında değişen köprü üstyapısı dikkate alınmıştır. Çalışma sonucunda bu üç yönetmelik ile yapılan tasarım neticesinde bulunan sonuçlar yorumlanmıştır. Fanning (2001) [8] yaptığı çalışmada betonarme ve sonradan gerilmeli kirişleri laboratuvarında test etmiş ve ANSYS sonlu elemanlar programı ile modellemiştir. Çalışma kapsamında iki adet 3.0 m uzunluğunda dikdörtgen kesitli betonarme kiriş ve 9.0 m uzunluğunda T kesitli sonradan gerilmeli kiriş üretilmiştir. Betonarme kirişler simetrik ve monotonik olarak yüklenmiştir. Deneyler dört nokta yüklemesi altında yerdeğiştirme kontrollü olarak yapılmıştır. Sonradan gerilmeli kirişlerin kırılma deneyleri ise dönme ve birim şekil değiştirme kontrollü olarak

yapılmıştır. Yükleme düzgün yayılı olarak iki noktadan uygulanmış olup kirişler taşıma gücüne ulaşınca kadar devam edilmiştir. Kirişlerin modellenmesi ANSYS 5.5 programı ile yapılmıştır. Beton için Solid65, donatı için Link8 elemanları kullanılmıştır. Modellemede betonarme sistemin göçme anına kadar nonlinear eğilme davranışını tam olarak gösteren beton eleman kullanılmıştır. Bu elemanda donatının ayırık ya da dağılı olarak modellendiği durumlarda betondaki çatlaklara izin veren çatlak modeli kullanılmıştır. Modellemede optimum stratejinin karolaj yoğunluğunun kontrol edilmesi ve başlangıçta donatının ayırık modelleme ile kirişteki yerine yerleştirilmesi olduğu bulunmuştur. Bu nedenle hem betonarme kirişlerde hem de sonradan gerilmeli kirişte donatı ayırık usulde modellenmiş, sonradan gerilmeli kirişteki diğer donatılar ise betona dağılı olarak modellenmiştir. Sonuçta ayırık çatlak modelinin eğilmeden göçen betonarme sistemlerin modellenmesinde uygun bir nümerik model olduğu görülmüştür. Özellikle verilen yükleme altında taşıma gücüne kadar dönmelerin tam olarak hesaplanması istenen betonarme sistemler için tasarımcıların dikkatini çekmektedir.

Yukarıda bahsedilen çalışmalara ilave olarak önerilmeli beton teknolojiyle üretilmiş kiriş elemanlar üzerine yapılmış kesme deneyleri de literatürde bulunmaktadır [9-34]. Bu araştırmalarda kiriş boyutları, beton sınıfı, kesme donatısı, yükleme türü, donatı mekanik özellikleri, öngerme donatısı özellikleri, agrega çapı vs. gibi parametrelerin kesme kapasitesine olan etkisi irdelenmiştir. Kim (2004) [22], betonarme elemanlarda eğilme momenti ve eksenel kuvvet taşıma kapasitelerinin kesme kuvveti taşıma kapasitesine göre daha kolay belirlenmesinden yola çıkarak, betonarme ve önerilmeli betondan üretilmiş kiriş elemanlarının kesme dayanımlarının irdelenmesine yönelik deneysel verileri kullanarak bir çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışmada geniş kapsamlı bir literatür taramasının yanında, kesme etkisi altında kırılma (göçme) kavramlarından bahsetmiş ve uygulamada kullanılan yönetmelik kurallarından örnekler vermiştir. Kim (2004) [22] doktora tez çalışmasında betonarme kiriş ve önerilmeli beton kiriş deneylerini derlemiş ve bazı karşılaştırmalar yapılmıştır.

Bu çalışmada, farklı mühendislik özelliklerine sahip I kesitli önerilmeli betonarme kirişlerin daha önceden yapılmış deneysel incelemelerle elde edilen sonuçlardan faydalanarak, kirişlerin kesme kapasitesine kesit, malzeme, yükleme vb. parametrelerin etkisi irdelenmiştir. Ayrıca bu kirişlere ait deneysel verilerin akıllı (uzman) bir sistem olan Yapay Sinir Ağları (YSA) modellemeleri oluşturulup mevcut

yönetmeliklere göre kiriş kesme kapasiteleri belirlenerek çıkan sonuçlar üzerinde karşılaştırmalar yapılmıştır.

2. Öngerilmeli Beton Kirişlerde Kesme Hesabı

Yapı mekaniğinden bilindiği üzere, yapı elemanları çoğunlukla “basit mukavemet hallerinde” (eğilme, kesme, eksenel yük, burulma), genellikle ise “bileşik mukavemet hallerinde” (kesme-eğilme, kesme-burulma-eğilme, bileşik eğilme, vb.) bulunur. Örneğin kirişlerde yapılan deneylerde tek başına eğilme ya da tek başına kesme etkisine değil, “kesmeli eğilme” haline maruzdur. Taşıma gücüne göre hesapta kesitlerin çubuk eksenine dik kalması, ya da düzlem kesitlerin eğilme ile düzlem kalması kabulü (Bernoulli-Navier Hipotezi) yapılır. Bu kabuller altında hesap kesitlerinde eğilme ve kesme gerilmelerini ayrı ayrı tahmin eder ve ardından elde edilen değerlerinin yeterince doğru olduğunu kabul ederek, eğilme ve kesme gerilmelerini, bir bileşik mukavemet hali olarak birlikte değerlendirir.

Kapasite tasarımı gereği betonarme elemanlarda göçme mekanizmasının sünek olması istenir ve bu istek gerek deprem yönetmeliklerinde gerekse betonarme bina yapım yönetmeliklerinde vurgulanmıştır. Davranışın sünek olabilmesi için, elemanın kesme taşıma gücüne ulaşmadan eğilme taşıma gücüne ulaşması, bu sayede eğilme kapasitesinden tam olarak yararlanılabilmesi amaçlanmaktadır. Bu amaçla eğik çekme gerilmelerini karşılamak üzere kiriş eğine donatılar eklenir. Pilye ve bazı durumlarda özellikle mesnet bölgesinde betonun kesmeye olan katkısı ihmal edilir.

Kesme dayanımının hesabında temel problem; elemanın (Sadece eğilme ve kesme etkisinde daha çok kirişler bulunduğu için çoğu zaman kiriş olarak anılmaktadır) eğilme taşıma gücüne ulaşarak göçmesini sağlayacak şekilde beton ve eğine donatısının yeterli miktarlarının tahmin edilebilmesine indirgenmiştir. Öngerilmeli betonarme kirişlerin kesme hesabı ilgili yönetmeliklerde kesme çatlamasından önce ve çatlamasından sonra olmak üzere çeşitli formüllerle verilmiştir.

2.1. AASHTO ve TS3233 Çerçevesinde Kesme Kuvveti Hesap ve Tahkikleri

Amerika Devlet Yolu ve Ulaştırma Görevlileri Derneği (American Association Of State Highway And Transportation Officials) (AASHTO), TS 500-2000 VE TS 3233 [34-36] öngerilmeli betonarme kirişlerin kesme kapasitelerinin hesabında genel olarak Denklem 1’de verilen koşul sağlanacak şekilde tasarlanmasını istemektedirler.

$$V_u \leq \phi(V_c + V_s) \quad (1)$$

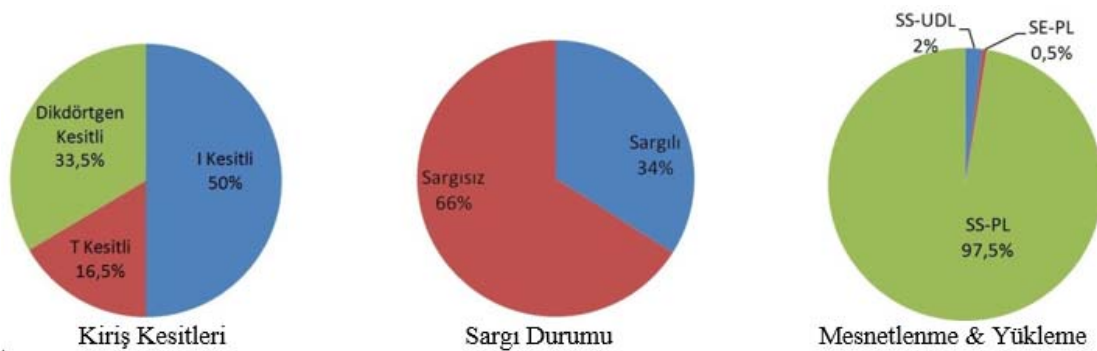
Burada; V_u yük katsayıları ile büyütülmüş tasarım kesme kuvvetini, V_c beton kesit tarafından sağlanan kesme mukavemetini ve, V_s gövde donatısı tarafından sağlanan nominal kesme mukavemetini ifade etmektedir. Yüklerin tepkisi uç bölgelere basınç uyguladığında, mesnet yüzünden $h/2$ mesafeye kadarki kesit bölgesi, mesnet yüzünden $h/2$ mesafede hesaplanan aynı V_u kesme kuvveti ile tasarlanabilir.

Öngerilmeli betonun kesme taşıma gücü, V_c , beton maksimum asal çekme gerilmesinin, gövdede veya kesitin çekme bölgesi uç lifinde oluşmasına bağlıdır. İlk kesme çatlağı asal çekme gerilmesinin maksimum olduğu yerde oluşacaktır.

İlk kesme çatlağının oluşma yeri; öngerilme miktarına, kesit şekline, gövde kalınlığına, öngerilme donatısının düz veya eğik kullanılmasına bağlıdır. Öngerilmeli betonun kesme taşıma gücü yönetmeliklerce belirtilen V_{cw} veya V_{cr} denklemlerinden hesaplanmaktadır. Her eleman için, bu iki denklemden bulunacak değerlerin küçük olanı V_c olarak alınacaktır.

3. Öngerilmeli Beton Kirişlerin DeneySEL Verilerinin İrdelenmesi

Şekil 1’de 485 adet öngerilmeli beton elemana genel bir bakış gösterilmektedir. Bu elemanlardan 163 kiriş dikdörtgen, 244 kiriş I-kesitli ve 78 kiriş ise T-kesitlidir. Ayrıca bu elemanlardan 109 kiriş etriyeli (sargı donatılı), 376 kiriş ise etriyesizdir (sargı donatısız). DeneySEL testlerin yaklaşık olarak %98’i (485 testten 473’ü) basit mesnetli bir veya iki tekil yükle yüklenmiş kiriş formundadır. 10 testte, basit mesnetli düzgün yayılı yükle yüklenmiş kiriş formu mevcut olup iki testte ise nokta yüklerle yüklü sürekli kiriş formu vardır.



Şekil 1. Veri tabanındaki öngerilmeli beton kirişlerin genel özellikleri

Şekil 2, Şekil 3, Şekil 4, Şekil 5 ve Şekil 6’da 485 deneysel testin tamamının parametrelere göre verilerinin dağılımı gösterilmektedir. Bu test sonuçlarından 281’inde beton basınç dayanımı 400 kg/cm^2 ’den küçüktür. Bu testlerden sadece 60’ında kiriş yüksekliği 50 cm’den büyüktür. Kirişlerin yaklaşık olarak %40’ında a/d oranı 3.5’tan düşüktür. Aynı kirişler genellikle yüksek kirişler gibi olup ve sadece 53 kiriş %1’den düşük boyuna donatı içermektedir.

"f _c " (kg/cm^2)x10 ² :	2	3	4	5	6	8	15
Test Sayısı :	35	113	133	106	42	46	10
Toplam Test Sayısı :	35	148	281	387	429	475	485

Şekil 2. Beton basınç dayanımına göre kirişlerin sayısal dağılımı

Kiriş Derinliği (cm) :	30	40	60	150	200
Test Sayısı :	98	310	34	33	10
Toplam Test Sayısı :	98	408	442	475	485

Şekil 3. Kiriş derinliğine göre kirişlerin sayısal dağılımı

P ₁ %:	0	1	2	3	6
Test Sayısı :	330 (Boyuna donatı yok)	53	53	36	13
Toplam Test Sayısı :	330	383	436	472	485

Şekil 4. Boyuna donatı oranına göre kirişlerin sayısal dağılımı

a/d:	3	3,5	4	5	6	8
Test Sayısı :	94	101	144	89	41	16
Toplam Test Sayısı :	94	195	339	428	469	485

Şekil 5. Kesme açıklığının kiriş etkili derinliğine (a/d) oranına göre kirişlerin sayısal dağılımı

$\rho_v \cdot f_y$ (kg/cm^2)x10 ² :	0	15	25	50	150
Test Sayısı :	376 (sargı donatısı yok)	34	29	25	21
Toplam Test Sayısı :	376	410	439	464	485

Şekil 6. Kesme dayanımına göre kirişlerin sayısal dağılımı

4. Yapay Sinir Ağları İle Öngerilmeli Betonarme Kirişlerin Kesme Kapasite Tahmini

Yapay sinir ağları (YSA), insan beyninde olduğu gibi öğrenme yolu ile yeni bilgiler oluşturabilme, geliştirebilme ve keşfedebilme gibi yetenekleri, bilgisayar

ortamında herhangi bir yardıma gerek duymadan otomatik olarak gerçekleştirebilmek için geliştirilen sistemlerdir. YSA; insan beyninden ilham alınarak, öğrenme sürecinin sayısal olarak modellenmesinin sonucunda ortaya çıkmıştır. Bundan dolayı, bu konu ile ilgili çalışmalar, öncelikle insan beyninde bulunan biyolojik birimlerin yani nöronların modellenmesi ve bilgisayar sistemlerine entegre edilmesi ile başlamıştır. İlerleyen süreçte ise bilgisayar sistemlerinin gelişimiyle birlikte birçok alanda uygulanması yaygınlaşmıştır. Bu çalışmada I kesitli sargılı öngerilmeli betonarme kirişlerin kesme kapasitelerinin belirlenmesinde etkili olan parametrelerin münferit olarak etkilerinin irdelenmesinin gerçekçi sonuçlar vermeyeceği anlaşılmıştır. Bunun üzerine kiriş kesme kapasitesinin belirlenmesi için, bu parametrelerin topyekûn irdelenmesi ve daha doğru sonuçlara yaklaşabilmek adına birkaç çeşit YSA oluşturulmuştur.

Çalışmada kullanılan veriler Kim (2004) [22] ve Sertkaya (2017) [37] tarafından derlenen betonarme kiriş ve öngerilmeli beton kiriş deneylerinden elde edilmiştir. Çalışmasında 485 adet öngerilmeli beton kirişten 163 kiriş dikdörtgen, 244 kiriş I-kesitli ve 78 kiriş ise T-kesitlidir. Basit mesnetli (SS) olup 2 tekil yükle yüklenmiş dikdörtgen kesitli öngerilmeli beton kirişlerin toplam sayısı 70'tir. Basit mesnetli (SS) olup 2 tekil yükle yüklenmiş I-kesitli öngerilmeli beton kirişlerin toplam sayısı ise 229'dur. Bu çalışmada basit mesnetli, 2 tekil yükle yüklenmiş sadece I-kesitli sargılı öngerilmeli betonarme kirişler incelenmiştir (Şekil 7).



Şekil 7. I kesitli kirişler için sembolik gösterim

Daha önceden SI birim sisteminde oluşturulmuş olan öngerilmeli betonarme kirişlerin kesme kapasitelerine ait deneysel veriler, MATLABR2013a (8.1.0.604) programında modellenmiştir.

YSA modellerinde öğrenme algoritması olarak Levenberg-Marquardt algoritması tercih edilmiştir. YSA modellerinde eğitim (training) için kullanılan kiriş adedi kiriş toplam adedinin %70'ini, doğrulama (validation) için kullanılan kiriş adedi

kiriş toplam adedinin %15'ini, test için kullanılan giriş adedi ise giriş toplam adedinin %15'ini teşkil etmiştir. Bu oranların değiştirilmesi sonuca etki edebilir fakat bu çalışmada bu oranlar sabit tutularak ayrı bir parametre olarak düşünülmemiştir.

YSA modeli oluşturulurken gizli düğüm sayısı içinde bir optimizasyon yapılmıştır. Gizli düğüm sayısının YSA'nın başarısını ve yakınsama hızını çok fazla etkilediği bilinmektedir. Araştırmacılara gizli düğüm sayısı ile ilgili çelitle denemeler yapmış ve bu problemin çözümü için düğüm sayısının 100 olarak seçilebileceğini düşünmüşlerdir. Literatürde gizli düğüm sayıları için de çok değişik yaklaşımlar mevcuttur. İterasyon (epoch) sayısı ise 0-1000 aralığında seçilmiştir.

Başlangıç değerleri kadar öğrenme ve momentum katsayılarının belirlenmesi de ağırlık öğrenme performansı ile yakından ilgilidir. Öğrenme katsayısı ağırlıkların değişim miktarını belirlemektedir. Eğer büyük değerler seçilirse o zaman yerel çözümler arasında ağırlık dolaşması ve osilasyon yaşaması söz konusu olmaktadır. Küçük değerler seçilmesi ise öğrenme zamanını artırmaktadır. Tecrübeler genellikle 0.2-0.6 arasındaki değerlerin kullanıldığını göstermiştir. Bazı uygulamalar öğrenme katsayısının 0.6 değerini aldığı zaman en başarılı sonuçları verdiği göstermiştir. Bu durum tamamen probleme bağlıdır. Bu çalışmada öğrenme oranı olarak 0.6 seçilmiştir. Momentum katsayısı da yine literatürde sıklıkla tercih edilen değerlerden biri olan 0.2 olarak alınmıştır.

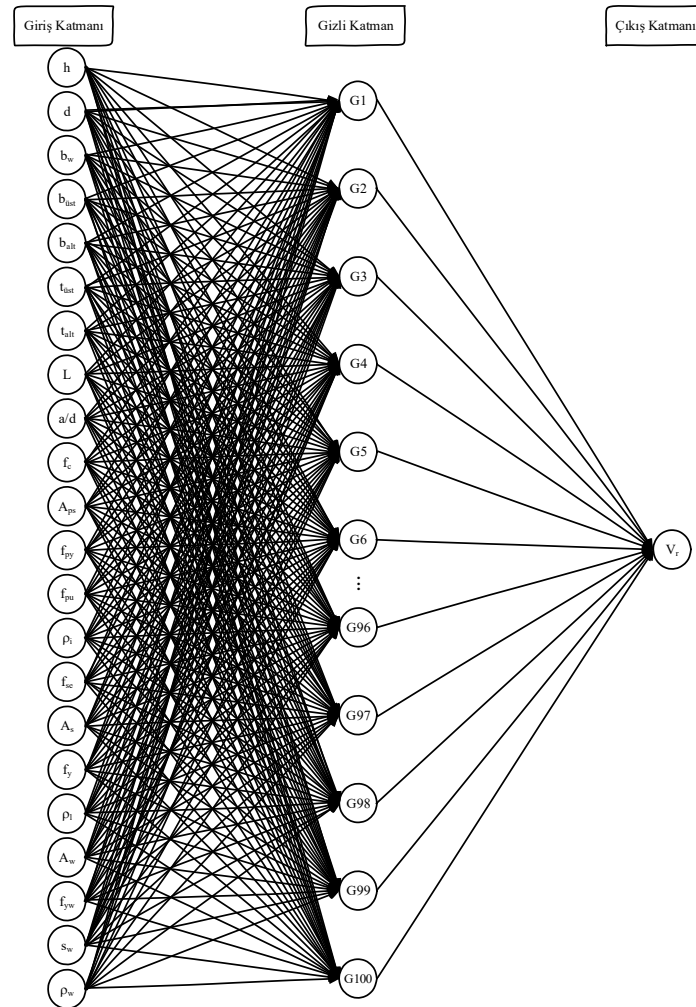
Aktivasyon fonksiyonu için sigmoid fonksiyon kullanılmıştır. Sigmoid aktivasyon fonksiyonu sürekli ve türevi alınabilir bir fonksiyondur. Doğrusal olmayışı dolayısıyla yapay sinir ağı uygulamalarında en sık kullanılan fonksiyondur. Bu fonksiyon girdi değerlerinin her biri için 0 ile 1 arasında bir değer üretir.

Giriş ve çıkış verilerin ölçeklendirilmesinde YSA'nın hızını ve başarısını etkileyen faktörlerdendir. Özellikle donatı oranı gibi çok küçük değerler çalışmada yüksek hata oranı getireceği için çalışmada kullanılan tüm veriler basit lineer ölçeklendirme ile giriş ve çıkış verileri 0-1 aralığında normalize edilmiştir.

Çalışmada test edilen YSA modelinin gerçek doğruluk oranı veri seti içinden rastgele seçilen %15 oranında giriş verisi ile sınanmış, toplanan verilerin daha bütünsel kullanımı için k-fold çapraz onaylama metodu (k fold cross validation) bu çalışmada kullanılmamıştır.

YSA modellemesinde en iyi sonuç elde edilene kadar eğitime devam edilmiştir. En iyi sonuç izafî bir kavram olmakla beraber literatürde eğer benzer datalarla yapılmış olan başka bir çalışma varsa bu çalışmadaki başarının üzerinde bir başarı elde etmek olarak düşünülmektedir. Sonraki adımda ise YSA'nın eğitim sonuçları incelenmiştir. Eğitim sonuçları tatmin edici seviyede olmadığında tekrar eğitime başlanarak en iyi sonuç elde edilmeye çalışılmıştır.

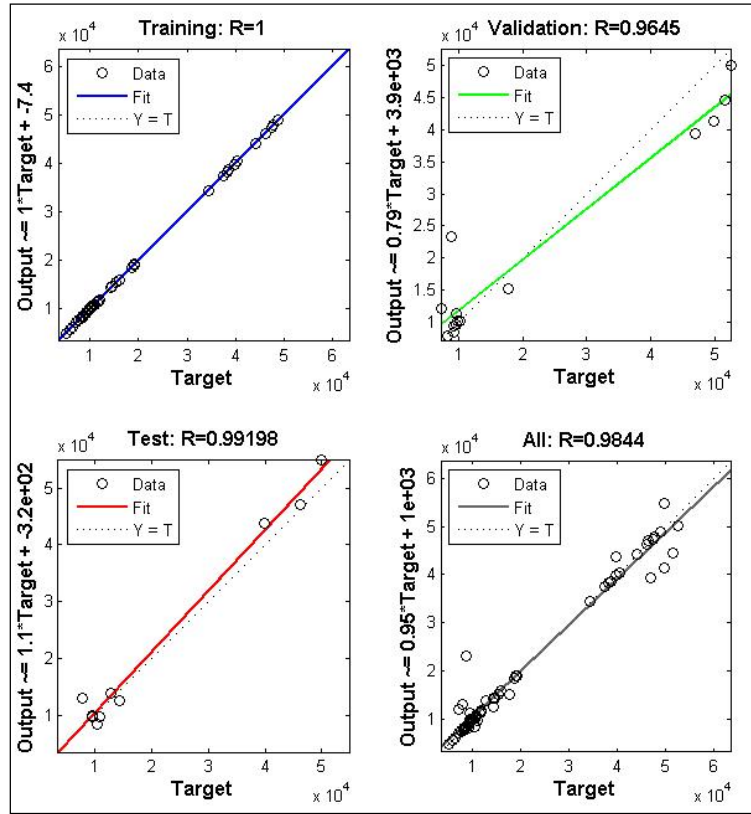
Öngerilmeli beton kirişlerden YSA modellemesinde kullanılan parametreler; h , d , b_w , $b_{üst}$, b_{alt} , $t_{üst}$, t_{alt} , L , a/d , f_c , A_{ps} , f_{py} , f_{pu} , ρ_i , f_{se} , A_s , f_y , ρ_l , A_w , f_{yw} , s_w ve ρ_w parametreleri kullanılmıştır. I kesitli kirişlerde toplamda 22 ayrı parametre üzerinden YSA oluşturulmuştur. Çalışmada mesnetlenme koşullarını ayrı bir değişken olarak düşünmemek için sadece basit mesnetli (SS (Simple Support)) kirişler tercih edilmiştir.



Şekil 8. I-kesitli öngerilmeli beton kirişler için YSA ağ yapısı

Öngerilmeli beton kirişler için kurulan YSA ağ yapısı Şekil 8’de gösterilmiştir. Görüleceği gibi I-kesitli bir öngerilmeli beton kirişin giriş katmanında 22 farklı düğüm, çıkış katmanında ise sadece bir düğüm bulunmaktadır. Gizli düğüm katmanı ise 100 adet düğümden oluşmaktadır.

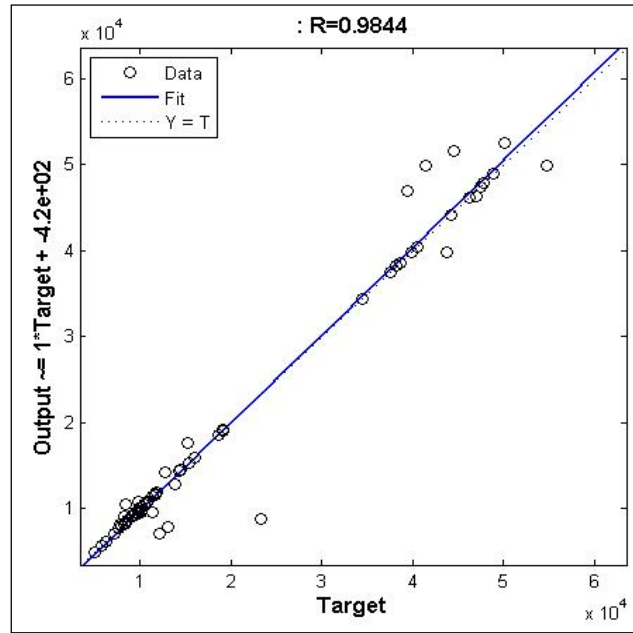
YSA modellemelerinde kullanılan öngerilmeli beton kirişlerin adetleri Tablo 1’de verilmiştir. Şekil 9, Şekil 10 ve Şekil 11’de ise öngerilmeli beton I-kesitli kiriş numuneler üzerinden yapılan YSA modellemelerinin sonuç regresyon değerleri gösterilmiştir. Tablo 1’den de görüleceği üzere YSA’nın gerçek performansının sisteme tanıtılmayan özgün veri setinden sınanması gerektiği için çalışmada model doğrulaması (validation) yapılırken sisteme gösterilmeyen test verileri kullanılmıştır.



Şekil 9. I-kesitli, sargılı, 2 tekil yükle yüklenmiş olan öngerilmeli beton kirişlerin eğitim için regresyon sonuçları

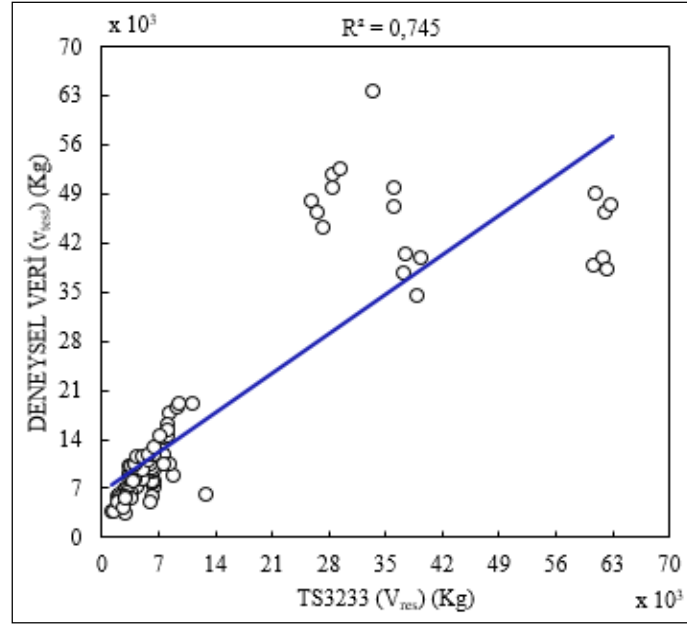
Tablo 1. YSA modellemelerinde kullanılan I-kesitli öngerilmeli beton kiriş adetleri

Öngerilmeli Beton I-Kesitli Kiriş ve Kullanım Amacı	Sargılı, 2 Tekil Yükle Yüklenmiş
Eğitim - %70 (Training)	97
Doğrulama - %15 (Validation)	21
Test - %15 (Test)	21
Toplam Kiriş Adedi	139



Şekil 10. I-kesitli, sargılı, 2 tekil yükü yüklenmiş olan öngerilmeli beton kirişlerin test için regresyon sonuçları

YSA'nın başarısını sınamak için deneysel veriler için TS 3233 ilkelerine göre kesme kapasitesi hesabı da yapılmıştır. Hesaplarda V_{cw} ile V_{cr} 'den küçük olanı V_c olarak alınmıştır. Şekil 10'da öngerilmeli beton kiriş numuneler üzerinden TS 3233 ilkelerine göre yapılan analiz sonuçları için regresyon değerleri gösterilmiştir.



Şekil 11. I-kesitli, sargılı, 2 tekil yükle yüklenmiş olan öngerilmeli beton kirişlerin TS3233'e göre regresyon sonuçları

5. Sonuçlar ve Değerlendirme

Bu çalışmada öngerilmeli beton kirişlerin kesme kapasitelerinin belirlenmesi için akıllı sistem tabanlı analitik bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Çalışmada akıllı sistem olarak YSA seçilmiştir. Çalışmada ilk olarak öngerilmeli beton kirişlerin kesme kapasitelerinin teorik hesaplarından bahsedilmiştir daha sonra ise bu konuda yapılan deneysel çalışmalar derlenerek deneyler hakkında açıklamalar ve deneylerin gruplandırılmaları yapılmıştır. Kesme kapasitesinin belirlenmesinde oldukça fazla parametrenin etkisinin olması bu yorumlamaları zorlaştırmış olsa da YSA modellemesi ile kesme kapasitesinin belirlenmesi için önemli bir deneysel ve analitik altyapı oluşturulmuştur. Söz konusu deneysel veriler çok kapsamlı olmakla beraber, bu çalışma ile SI birim sisteminde kullanılabilecek bir veri tabanı oluşturulmuştur.

Çalışmada literatürde denenen öngerilmeli betonarme kiriş verileri derlenerek çok geniş çaplı bir veri seti kullanılmıştır. Öngerilmeli beton olarak ise 485 adet kiriş içinde 244 adet I-kesitli kiriş seçilmiştir. Bu elemanlardan satgılı olanlar üzerinde analizler gerçekleştirilmiştir.

Öngerilmeli beton kirişler için yapılan karşılaştırmaların hepsinde YSA'nın TS3233'e göre oldukça başarılı olduğu görülmektedir. YSA'da tahmin başarısı %98.44 iken TS 3233'de bu başarı 74.50'larda kalmıştır.

Çalışmanın YSA kısmından elde edilen sonuçların YSA'da kullanılan parametrelere YSA'nın türüne ve modelleme kabullerine bağlı olacağı da aşikardır. Araştırmacıların bu tez çalışmasında hazırlanan veri seti için daha farklı YSA türleri ile daha yüksek başarı yakalama şansları da bulunmaktadır. Ayrıca çalışmada kullanılan akıllı sistemin YSA yerine başka bir sistem seçilmesi de yine elde edilen başarı oranlarını etkileyebilecektir.

Kaynaklar

- [1] Karadoğan F., Pala S., Yüksel E., Durgun Y., Yapı Mühendisliğine Giriş Yapısal Çözümleme, Birsan Yayınevi, İstanbul, 2011.
- [2] Celep Z., Betonarme Yapılar, İhlas Matbacılık, İstanbul, 2013.
- [3] Ali, M. K., 2010, Öngermeli Betonarme Köprü Kirişi Modellemesi, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- [4] Onyemelukwe, O. U., Moussa Issa, P. E. and Mills, C. S., 2003, Field Measured Prestress Concrete Loses Versus Design Codes Estimates, *Society for Experimental Mechanics*, 201-215.
- [5] PCI Design Handbook, Precast and Prestressed Concrete, 2004, Chicago, USA
- [6] AASHTO, 2002, *American Association of State Highway and Transportation Officials*.
- [7] Du, J. S. and Au, F. T. K., 2005, Deterministic and Reliability Analysis of Prestressed Concrete Bridge Girders, *Comparison of the Chinese, Hong Kong and AASHTO LRFD Codes, Structural Safety*, Vol. 27, 230-245.
- [8] Fanning, P., 2001, Nonlinear Models of Reinforced and Post-tensioned Concrete Beams, *EJSE International Electronic Journal of Structural Engineering*, Vol.2, 111-119.
- [9] Arthur, P.D., 1965, The Shear Strength of Pre-Tensioned I- Beams with Unreinforced Webs, *Magazine of Concrete Research*, Vol. 17, No. 53, December, 199-210.

- [10] Bennett, E. W. and Balasooriya, B. M. A., 1971, Shear Strength of Prestressed Beams with Thin Webs Failing in Inclined Compression, *ACI Journal Proceedings*, Vol. 68, No. 3, 204-212.
- [11] Bennett, E. W. and Debaiky, S. Y., 1974, High-Strength Steel as Shear Reinforcement in Prestressed Concrete Beams, Shear in Reinforced Concrete, *ACI SP-42*, American Concrete Institute, 231-248.
- [12] Cederwall, K., Hedman, O. and Losberg, A., 1974, Shear Strength of Partially Prestressed Beams with Pretensioned of High Grade Deformed Bars, Shear in Reinforced Concrete, *ACI SP 42-9*, American Concrete Institute, 215-230.
- [13] Cumming, D. A., Shield, C. K. and French, C. E., 1998, Shear Capacity of High-Strength Concrete Prestressed Girders, MN/RC-1998/12, *Minnesota Department of Transportation*, Minneapolis, MN, May, 291.
- [14] Durrani, A. J. and Robertson, I. N., 1987, Shear Strength of Prestressed Concrete T Beams with Welded Wire Fabric as Shear Reinforcement, *PCI Journal*, Vol. 32, No. 2, March-April, 46-61.
- [15] Elzanaty, A. H., Nilson, A. H. and Slate, F. O., 1986, Shear Capacity of Reinforced Concrete Beams Using High-Strength Concrete, *ACI Journal Proceedings*, Vol. 83, No. 2, March-April, 290-296.
- [16] Evans, R. H. and Schumacher, E. G., 1963, Shear Strength of Prestressed Beams Without Web Reinforcement, *ACI Journal Proceedings*, Vol. 60, November, 1621-1642.
- [17] Gregor, T. and Collins, M. P., 1995, Tests of Large Partially Prestressed Concrete Girders, *ACI Structural Journal*, Vol. 92, No. 1, 63-72.
- [18] Hicks, A. B., 1958, The Influence of Shear Span and Concrete Strength upon the Shear Resistance of a Pre-tensioned Prestressed Concrete Beam, *Magazine of Concrete Research*, Vol. 10, November, 115-122.
- [19] Jacob, J. and Russell, B., 1999, Effects of Horizontal Web Reinforcement on Shear Capacity Shear Ductility and Strand Anchorage, *Transportation Research Board 78th Annual Meeting*, January 10-14, 23.
- [20] Kar, J. N., 1969, Shear Strength of Prestressed Concrete Beams without Web Reinforcement, *Magazine of Concrete Research*, Vol. 21, No. 68, 159-170.

- [21] Kaufman, M. K. and Ramirez, J. A., 1988, Re-evaluation of the Ultimate Shear Behavior of High-Strength Concrete Prestressed I-Beams, *ACI Structural Journal*, Vol. 85, No. 3, May-June, 295-303.
- [22] Kim K. S., 2004, Shear behavior of RC Beams and Prestressed Concrete Beams, Thesis (PhD) University of Illinois at Urbana-Campaign.
- [23] Lynberg, B. S., 1976, Ultimate Shear Resistance of Partially Prestressed Reinforced Concrete I-Beams, *ACI Journal Proceedings*, Vol. 73, No. 4, April, 214-222.
- [24] MacGregor, J. G., 1958, Effect of Draped Reinforcement on Behavior of Prestressed Concrete Beams, Civil Engineering Studies, Structural Research Series No. 154, University of Illinois, May, 83.
- [25] MacGregor, J. G., 1960, Strength and Behavior of Prestressed Concrete Beams with Web Reinforcement, Doctorate Thesis, Graduate College, University of Illinois, Urbana, Illinois, July, 295.
- [26] Mahgoub, M. O., 1975, Shear Strength of Prestressed Concrete Beams without Web Reinforcement, *Magazine of Concrete Research*, Vol. 27, No. 93, December, 219-228.
- [27] Malone, B. J. and Ramirez, J. A., 2000, Shear Strength of High Strength Lightweight Prestressed Concrete Beams, *Proceedings of the PCI/FHWA*, September, 635-644.
- [28] Moayer, M. and Regan, P. E., 1974, Shear Strength of Prestressed and Reinforced Concrete T-Beams, *ACI SP-42-8*, Detroit, American Concrete Institute, 183-213.
- [29] Olesen, S. E., Sozen, M. A. and Siess, C. P., 1967, Investigation of Prestressed Reinforced Concrete for Highway Bridges, Part IV: Strength in Shear of Beams with Web Reinforcement, *Engineering Experiment Station*, Bulletin No. 493, University of Illinois, Urbana, 152.
- [30] Radogna, E. F., 1962, Esperienze Di Rottura Al Taglio Su Travi A Doppio T Con Armatura Pre-Tesa, Università' Degli Studi Di Roma.
- [31] Rangan, B. V., 1991, Web Crushing Strength of Reinforced and Prestressed Concrete Beams, *ACI Structural Journal*, Vol. 88, No. 1, 12-16.

- [32] Shahawy, M. A. and Batchelor, B., 1996, Shear Behavior of Full-Scale Prestressed Concrete Girders: Comparison between AASHTO Specifications and LRFD Code, *PCI Journal*, Vol. 41, No. 3, May-June, 48-53.
- [33] Sozen, M. A., 1957, Strength in Shear of Reinforced Concrete Beams without Web Reinforcement, Civil Engineering Studies, *Structural Research Series*, No. 139, University of Illinois, August.
- [34] Zwoyer, E. M., 1953, Shear Strength of Simply Supported Prestressed Concrete Beams, *Doctorate Thesis*, Graduate College, University of Illinois, May.
- [35] TSE, TS 500, 2000, Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 29-31.
- [36] TSE, TS 3233, 1979, Öngerilmeli Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 1-44.
- [37] Sertkaya M.S., “Betonarme ve Öngerilmeli Beton Kirişlerin Kesme Kapasitelerinin Tahminine Yönelik Bir Araştırma” Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Devam Eden Yüksek Lisans Çalışması, 2017.